Das Rationalisierungsproblem in der Elektrodynamik

Stille, Ulrich

Veröffentlicht in:
Abhandlungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft Band 3, 1951, S. 122-134

Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig

Das Rationalisierungsproblem in der Elektrodynamik

Von **Ulrich Stille**

Vorgelegt von Herrn **E. Justi**

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt)

Abstract: The different methods for rationalization in electrodynamics are to be discerned and characterized by two general points of view: (1) according to the principal kind of the method (variation of magnitudes or units) and (2) according to the magnitude respectively unit which remains invariant against rationalization. The four most important methods of rationalization (rationalization of Heaviside-Lorentz, rationalization of Giorgi, and the modifications of those two methods regarding variation of magnitudes respectively units) are explained by simple examples, their consequences are confronted, and some general conclusions are drawn. This results in—as far as in future the rational and the nonrational treatment of electrodynamics will be maintained in parallel—the method of Giorgi represents the most suitable solution.

1. Einleitung

In mehreren voraufgegangenen Veröffentlichungen[1][2][3][4] hat der Verfasser nach allgemeinen Gesichtspunkten die Verknüpfungen und wechselseitigen Übergänge zwischen verschiedenen physikalischen Begriffs- bzw. Größensystemen, die zur Darstellung der Elektrodynamik verwendet wurden und werden, behandelt. In diesem Zusammenhang wurde auch der Problemkreis der Rationalisierung, die sich als eine Frage geometrischer Zuordnung und Definition erwies, in allgemeiner Form erörtert und diskutiert.

Wie eine Reihe von inzwischen in der in- und ausländischen Literatur erschienenen Arbeiten sowie Diskussionen in verschiedenen internationalen Gremien zeigen, sind die beiden Themen der physikalischen Begriffsbildung und der geometrischen Rationalisierung in der Elektrodynamik wieder einmal in den Vordergrund des Interesses gerückt. Dies mag damit zusammenhängen, daß durch den zum 1.1.1948 international vereinbarten Wechsel in den elektrischen Einheiten einerseits zwar formal ein gewisser Schlußstrich unter eine jahrzehntelange Entwicklung gesetzt wurde, auf der anderen Seite aber Meinungsverschiedenheiten oder Mißverständnisse, die über die Zweckmäßigkeit der verschiedenen Auffassungen der Elektrodynamik seit langem latent schweben, erneut in Fluß gerieten.

Diese Situation macht es jetzt notwendig, zur gegenseitigen Klärung der Begriffe eine Reihe grundsätzlicher Ergänzungen wie spezieller Erweiterungen zu den bereits vom Verfasser veröffentlichten*) Überlegungen und Ergebnissen mitzuteilen. In der vorliegenden Veröffentlichung soll zunächst das Thema der Rationalisierung weiterentwickelt werden, zumal auf diesem

*) Die beiden unter [1]) und [2]) aufgeführten Arbeiten werden im folgenden kurz mit I und II zitiert.

Gebiet internationale Entscheidungen anstehen, die für den am Begriffssystem und der Darstellung der Elektrodynamik Interessierten ebenso Bedeutung haben wie für den Elektrotechniker in der Praxis bei seinen täglichen Berechnungen.

2. Allgemeine Kennzeichnung der verschiedenen Rationalisierungsverfahren in der Elektrodynamik

Der Übergang von der nicht-rationalen zur rationalen bzw. umgekehrt von der rationalen zur nicht-rationalen Darstellung der Gesetzmäßigkeiten in der Elektrodynamik ist im Laufe der Zeit auf sehr vielfältige Weise vorgenommen oder vorgeschlagen worden. Infolgedessen entstehen heute über das „Rationalisierungsproblem" häufig Meinungsverschiedenheiten, die ihren Grund einfach darin haben, daß zwei Diskussionspartner von zwei verschiedenen Arten des Überganges rational $\rightleftharpoons$ nicht-rational sprechen und daher aneinander vorbeireden.

Die verschiedenen Möglichkeiten für solche Übergänge lassen sich grundsätzlich nach zwei Gesichtspunkten einteilen und einordnen:

1. nach der Verfahrensart, d.h. danach, ob die Rationalisierung oder ihre Umkehrung in die Größendefinition oder in eine besondere Einheitenfestsetzung gelegt wird, und
2. nach der Größe, die selbst oder deren Einheit bei der Rationalisierung oder ihrer Umkehrung invariant bleibt.

Für die unter 1. genannte Alternative wurden in I (Abschn. 3) bereits die Bezeichnungen „Methode der Variation der Größen" bzw. „Methode der Variation der Einheiten" eingeführt und im weiteren durch die Buchstaben *a* und *b* unterschieden. Für das Unterscheidungsmerkmal 2. sind in I (Abschn. 3a, d.h. im Bereich der Methode der Variation der Größen) die beiden für die Elektrodynamik wichtigsten Fälle unter den Buchstaben α (Quellenmenge, d.h. elektrische Ladung bzw. deren Einheit invariant gegen Rationalisierung) und β (skalare Größe unter dem Hüllintegral, d.h. Feldkonstante bzw. deren Einheit invariant gegen Rationalisierung) grundsätzlich behandelt worden*).

Durch eine konsequente Einordnung der verschiedenen bei der Rationalisierung eingeschlagenen Verfahren nach den beiden oben aufgestellten Gesichtspunkten ist es möglich, diese eindeutig zu kennzeichnen und zu unterscheiden, so daß in Zukunft aneinander vorbeilaufende Debatten vermieden werden könnten.

Heute interessieren im wesentlichen 4 Übergangsarten: einmal das Verfahren von Heaviside und Lorentz, die nach der Methode *b* der Variation der Einheiten vorgingen und (in einer heute viel benutzten Ausdrucksweise) die Einheiten der Feldkonstanten ε_0 bzw. μ_0 invariant ließen; zweitens die größenmäßige Abwandlung des Heaviside-Lorentzschen Verfahrens, bei der die von Heaviside und Lorentz benutzte Methode *b* der Variation der Einheiten durch die Methode *a* der Variation der Größen ersetzt wird; drittens

*) Anmerkung bei der Korrektur: Auf eine weitere Möglichkeit — nämlich dielektrische Verschiebungsdichte und magnetische Feldstärke bei der Rationalisierung invariant zu lassen —, auf welche kürzlich wieder de Boer[16]) hinwies, ist hier nicht eingegangen worden, da diese bislang keine Bedeutung erlangt hat.

das Verfahren von Giorgi, der nach der Methode *a* der Variation der Größen vorging und die Größen elektrische Ladung bzw. magnetischen Fluß invariant ließ; viertens ein in internationalen Diskussionen der letzten Zeit wiederholt vorgeschlagener Übergang, der sich der Methode *b* der Variation der Einheiten bedient und die Einheiten für elektrische Ladung bzw. magnetischen Fluß invariant läßt.

In der Tabelle 1 sind diese 4 Übergangsarten nach den beiden oben genannten Gesichtspunkten schematisch gekennzeichnet worden. Sie sollen im folgenden durch kurze Beispiele erläutert und ihre Konsequenzen für eine Anzahl elektrischer und magnetischer Größen formuliert und in den Tabellen 2 und 3 zusammengestellt werden.

Tabelle 1. Kennzeichnung von Übergängen rational $\rightleftharpoons$ nicht-rational

Rationalisierungs-Verfahren	Kennzeichnende Kriterien: Alternative 1 d.h. Variation der	Kennzeichnende Kriterien: Unterscheidungsmerkmal 2 d.h. Invarianz der Größe oder Einheit von
Verfahren von Heaviside und Lorentz	*b* Einheiten	β Feldkonstanten
Größenmäßige Abwandlung des Heaviside-Lorentz-Verfahrens	*a* Größen	β Feldkonstanten
Verfahren von Giorgi	*a* Größen	α Ladung, Fluß
Einheitenmäßige Abwandlung des Giorgi-Verfahrens	*b* Einheiten	α Ladung, Fluß

3. Das Verfahren von Heaviside und Lorentz

Dieses Verfahren wurde ursprünglich von Heaviside[5]) für die Rationalisierung der von ihm bereits auf der Grundlage eines „Vierer"-Begriffssystems, d.h. eines Systems mit 4 Grundbegriffen oder Grundgrößen (s. Abschnitt 2 in II), geschriebenen Gleichungen der Elektrodynamik angewandt und später von Lorentz[6]) für den gleichen Zweck in der Schreibweise eines „Dreier"-Begriffssystems, d.h. eines Systems mit 3 Grundbegriffen oder Grundgrößen (s. Abschn. 3 in II), benutzt. Da die Heavisidesche Rationalisierungsart heute für das „Vierer"-System keine praktische Bedeutung mehr hat, dagegen die im folgenden Abschnitt behandelte Abwandlung dieses Verfahrens für den geschlossenen Übergang zwischen rationalem bzw. nicht-rationalem „Vierer"- und „Dreier"-System wichtig ist, soll dieses Verfahren hier an einem Beispiel aus dem Lorentzschen „Dreier"-System erläutert werden.

In der Größendefinition der „Dreier"-Systeme, speziell ihrer symmetrischen Einführung (s. Abschn. 3c in II), wird der Zusammenhang zwischen dem von einer „Punktladung" Q^g im Vakuum ausgehenden elektrischen Feld $\mathfrak{E}^g$ und Q^g in der Form

$$\oint \mathfrak{E}^g \cdot d\mathfrak{f} = 4\pi\, Q^g \tag{1}$$

dargestellt. Diese Gleichung hat die Form der „nicht-rationalen" Relation ($3n$) in I, wenn man in letzterer die skalare Größe a gleich eins setzt, was dem Sachverhalt entspricht, daß in dem Begriffssystem der symmetrischen „Dreier"-Größen $\mathfrak{E}^g$, Q^g usw. die elektrische Feldkonstante ε_0 nicht existent ist oder, wie man häufig kurz sagt, „den Wert 1 hat" (s. Abschn. 3 in II). $\mathfrak{E}^g$ und Q^g sind also nicht-rational definierte Größen. Um die folgenden Überlegungen zu vereinfachen, wird der spezielle Fall betrachtet, daß das $\oint$ über eine Kugelfläche $F = 4\pi r^2$ mit Q^g als Mittelpunkt erstreckt ist. Dann ist (1) in der Form zu schreiben $[E^g(r) = |\mathfrak{E}^g(r)|]$

$$E^g \cdot F = 4\pi\, Q^g. \tag{1a}$$

$[E^g]$, $[F]$ und $[Q^g]$ seien auf die durch (1a) verknüpften Größen abgestimmte Einheiten eines wohlpassenden Maßsystems, beispielsweise des CGS-Systems, in dem diese lauten

$$[E^g] = \mathrm{cm}^{-\frac{1}{2}}\mathrm{g}^{\frac{1}{2}}\mathrm{s}^{-1} \tag{2}$$

$$[F] \;= \mathrm{cm}^2 \tag{3}$$

$$[Q^g] = \mathrm{cm}^{\frac{3}{2}}\mathrm{g}^{\frac{1}{2}}\mathrm{s}^{-1}. \tag{4}$$

Zwischen ihnen besteht die Einheitengleichung

$$[E^g] \cdot [F] = [Q^g]. \tag{5}$$

Mit den in ihnen gemessenen Zahlenwerten $\{E^g\}$, $\{F\}$ und $\{Q^g\}$ läßt sich die nicht-rationale Größengleichung (1a) nach dem Axiom „Größe gleich Zahlenwert mal Einheit" in die Form

$$\{E^g\}\,[E^g] \cdot \{F\}\,[F] = 4\pi\{Q^g\}\,[Q^g] \tag{1a'}$$

bringen und aus dieser über Division durch die Einheitengleichung (5) die nicht-rationale Zahlenwertgleichung

$$\{E^g\} \cdot \{F\} = 4\pi\,\{Q^g\} \tag{6}$$

abspalten.

Lorentz „rationalisierte" diese nicht-rationale Gleichung nach der Methode b der Variation der Einheiten; d.h. er hielt an der nicht-rationalen Definition der Größen $\mathfrak{E}^g$ und Q^g fest und legte für diese neue „rationalisierte" oder „rationale" Einheiten so fest, daß der Faktor 4π in der Gleichung (6) zum Verschwinden kam. Da in dem von ihm benutzten Größensystem die elektrische Feldkonstante ε_0 selbst nicht enthalten und somit auch keine Einheit für ε_0 definiert oder erforderlich ist, konnte Lorentz nicht die „Einheit von ε_0" rationalisieren, sondern mußte die Rationalisierung an der Einheit von $\mathfrak{E}^g$ bzw. Q^g vornehmen. Diesen Sachverhalt drückt man heute vielfach in nicht gerade korrekter Weise durch die Feststellung aus, daß die „Einheit der Feldkonstanten bei der Rationalisierung invariant" geblieben sei: Fall β des Unterscheidungsmerkmals (Verfahren $b\beta$ in Reihe 1 der Tab. 2).

Flächen bleiben vom Rationalisierungsproblem überhaupt unberührt. Bei der Festlegung der „rationalen" Einheiten verteilte Lorentz den Faktor 4π multiplikativ zu gleichen Teilen auf Feldstärke- und Ladungseinheit:

$$[E^g]_\mathrm{r} = [E^g] \cdot \sqrt{4\pi} = (4\pi)^{\frac{1}{2}}\mathrm{cm}^{-\frac{1}{2}}\mathrm{g}^{\frac{1}{2}}\mathrm{s}^{-1}, \tag{7}$$

$$[Q^g]_\mathrm{r} = [Q^g]/\sqrt{4\pi} = (4\pi)^{-\frac{1}{2}}\mathrm{cm}^{\frac{3}{2}}\mathrm{g}^{\frac{1}{2}}\mathrm{s}^{-1}. \tag{8}$$

$[E^g]_r$ und $[Q^g]_r$ sind nicht mehr aufeinander und nicht mehr auf das CGS-System abgestimmt. Vielmehr gilt an Stelle der Einheitengleichung (5) zwischen den abgestimmten CGS-Einheiten hier die Relation

$$[E^g]_r \cdot [F] = 4\pi [Q^g]_r \,. \tag{9}$$

Mit den in ihnen gemessenen Zahlenwerten $\{E^g\}_r$, $\{F\}$ und $\{Q^g\}_r$ ist die nicht-rationale Größengleichung (1a) in die Form

$$\{E^g\}_r [E^g]_r \cdot \{F\} [F] = 4\pi \{Q^g\}_r [Q^g]_r \tag{1a''}$$

zu bringen; Division von (1a″) durch die „rationale" Einheitengleichung (9) führt zu der zugehörigen „rationalen" Zahlenwertgleichung

$$\{E^g\}_r \cdot \{F\} = \{Q^g\}_r \,. \tag{10}$$

In dieser Form hat Lorentz das von ihm in der Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften benutzte und nach ihm benannte (nicht-abgestimmte) System der rationalen symmetrischen CGS-Einheiten entwickelt. Für eine Reihe von elektrischen und magnetischen Größen sind die zugehörigen Einheitenfestlegungen in die Spalte 2 der Tabelle 2 eingetragen worden.

Heaviside hatte sich des gleichen Rationalisierungsverfahrens wie Lorentz bedient, dieses jedoch auf das von ihm benutzte „Vierer"-System angewandt, das die Feldkonstanten ε_0 und μ_0 als physikalische Größen enthält. In bezug auf die Heavisideschen rationalen Systeme ist also die Feststellung, daß die Einheiten von ε_0 und μ_0 bei der Rationalisierung invariant bleiben, sachlich gerechtfertigt; daher wurden in die Spalte 2 der Tabelle 2 für ε_{abs} und μ_{abs} die Heavisideschen Einheitenrelationen mit aufgenommen.

4. Größenmäßige Abwandlung des Lorentzschen Verfahrens

Heute würde man vom Standpunkt der Größen und Größengleichungen diese Rationalisierung lieber über eine Variation der Größen vornehmen, also nach der Methode a der Alternative 1. Das entsprechende Verfahren $a\beta$ (Reihe 2 der Tabelle 1) läuft folgendermaßen ab.

Zu den nicht-rationalen Größen $\mathfrak{E}^g$ und Q^g werden rationale Größen $\mathfrak{E}^{gr}$ und Q^{gr} definiert, und zwar bezüglich des Unterscheidungsmerkmals 2 nach der gleichen Art β, in der Lorentz die rationalen Einheiten (7) und (8) eingeführt hat, d.h. unter multiplikativer Aufteilung des Faktors 4π auf $\mathfrak{E}^g$ und Q^g:

$$E^{gr} = E^g / \sqrt{4\pi} \,, \tag{11}$$

$$Q^{gr} = Q^g \cdot \sqrt{4\pi} \,. \tag{12}$$

Ersetzt man in der nicht-rationalen Größengleichung (1a) die nicht-rationalen Größen E^g und Q^g durch die in (11) und (12) definierten rationalen Größen E^{gr} und Q^{gr}, so resultiert die rationale Größengleichung

$$E^{gr} \cdot F = Q^{gr} \,. \tag{13}$$

Auf diesen Größensatz abgestimmte Einheiten $[E^{gr}]$, $[F]$ und $[Q^{gr}]$ müssen der Einheitengleichung

$$[E^{gr}] \cdot [F] = [Q^{gr}] \tag{14}$$

Tabelle 2. Größenverknüpfungen bzw. Einheitenfestlegungen bei den verschiedenen Rationalisierungsverfahren

Größe	„Rationale" Einheiten für nicht-rationale Größen nach Heaviside bzw. Lorentz	Verknüpfungsrelationen zwischen rational und nicht-rational definierten Größen: entsprechend Lorentz	Verknüpfungsrelationen zwischen rational und nicht-rational definierten Größen: nach Giorgi	„Nicht-rationale" Giorgische Einheiten für rationale Größen
ε_{abs}	$[\varepsilon^n_{abs}]_r = [\varepsilon^n_{abs}]$	—	$\varepsilon^n_{abs} = \varepsilon^r_{abs} \cdot 4\pi$	$[\varepsilon_{abs}]_n = [\varepsilon_{abs}] / 4\pi$
U	$[U^n]_r = [U^n] \cdot \sqrt{4\pi}$	$U^r = U^n / \sqrt{4\pi}$	$U^n = U^r$	$[U]_n = [U]$
I	$[I^n]_r = [I^n] / \sqrt{4\pi}$	$I^r = I^n \cdot \sqrt{4\pi}$	$I^n = I^r$	$[I]_n = [I]$
$\mathfrak{G}$	$[\mathfrak{G}^n]_r = [\mathfrak{G}^n] / \sqrt{4\pi}$	$\mathfrak{G}^r = \mathfrak{G}^n \cdot \sqrt{4\pi}$	$\mathfrak{G}^n = \mathfrak{G}^r$	$[\mathfrak{G}]_n = [\mathfrak{G}]$
$\mathfrak{E}$	$[\mathfrak{E}^n]_r = [\mathfrak{E}^n] \cdot \sqrt{4\pi}$	$\mathfrak{E}^r = \mathfrak{E}^n / \sqrt{4\pi}$	$\mathfrak{E}^n = \mathfrak{E}^r$	$[\mathfrak{E}]_n = [\mathfrak{E}]$
$\mathfrak{D}$	$[\mathfrak{D}^n]_r = [\mathfrak{D}^n] \cdot \nu_e / \sqrt{4\pi}$	$\mathfrak{D}^r = \mathfrak{D}^n \cdot \sqrt{4\pi}/\nu_e$	$\mathfrak{D}^n = \mathfrak{D}^r \cdot \nu_e$	$[\mathfrak{D}]_n = [\mathfrak{D}] / \nu_e$
Ψ	$[\Psi^n]_r = [\Psi^n] \cdot \nu_e / \sqrt{4\pi}$	$\Psi^r = \Psi^n \cdot \sqrt{4\pi}/\nu_e$	$\Psi^n = \Psi^r \cdot \nu_e$	$[\Psi]_n = [\Psi] / \nu_e$
$\mathfrak{P}$	$[\mathfrak{P}^n]_r = [\mathfrak{P}^n] \cdot \lambda / \sqrt{4\pi}$	$\mathfrak{P}^r = \mathfrak{P}^n \cdot \sqrt{4\pi}/\lambda$	$\mathfrak{P}^n = \mathfrak{P}^r \cdot \lambda$	$[\mathfrak{P}]_n = [\mathfrak{P}] / \lambda$
$\mathfrak{m}_e$	$[\mathfrak{m}^n_e]_r = [\mathfrak{m}^n_e] / \sqrt{4\pi}$	$\mathfrak{m}^r_e = \mathfrak{m}^n_e \cdot \sqrt{4\pi}$	$\mathfrak{m}^n_e = \mathfrak{m}^r_e$	$[\mathfrak{m}_e]_n = [\mathfrak{m}_e]$
$\varkappa_e$	—	$\varkappa^r_e = \varkappa^n_e \cdot 4\pi$	$\varkappa^n_e = \varkappa^r_e / 4\pi$	—
Q	$[Q^n]_r = [Q^n] / \sqrt{4\pi}$	$Q^r = Q^n \cdot \sqrt{4\pi}$	$Q^n = Q^r$	$[Q]_n = [Q]$
η	$[\eta^n]_r = [\eta^n] / \sqrt{4\pi}$	$\eta^r = \eta^n \cdot \sqrt{4\pi}$	$\eta^n = \eta^r$	$[\eta]_n = [\eta]$
σ	$[\sigma^n]_r = [\sigma^n] / \sqrt{4\pi}$	$\sigma^r = \sigma^n \cdot \sqrt{4\pi}$	$\sigma^n = \sigma^r$	$[\sigma]_n = [\sigma]$
C	$[C^n]_r = [C^n] / 4\pi$	$C^r = C^n \cdot 4\pi$	$C^n = C^r$	$[C]_n = [C]$
R	$[R^n]_r = [R^n] \cdot 4\pi$	$R^r = R^n / 4\pi$	$R^n = R^r$	$[R]_n = [R]$
ϱ	$[\varrho^n]_r = [\varrho^n] \cdot 4\pi$	$\varrho^r = \varrho^n / 4\pi$	$\varrho^n = \varrho^r$	$[\varrho]_n = [\varrho]$
$\varkappa$	$[\varkappa^n]_r = [\varkappa^n] / 4\pi$	$\varkappa^r = \varkappa^n \cdot 4\pi$	$\varkappa^n = \varkappa^r$	$[\varkappa]_n = [\varkappa]$
μ_{abs}	$[\mu^n_{abs}]_r = [\mu^n_{abs}]$	—	$\mu^n_{abs} = \mu^r_{abs} / 4\pi$	$[\mu^r_{abs}]_n = [\mu^r_{abs}] \cdot 4\pi$
V	$[V^n]_r = [V^n] \cdot \sqrt{4\pi}$	$V^r = V^n / \sqrt{4\pi}$	$V^n = V^r \cdot 4\pi$	$[V]_n = [V] / 4\pi$
$\mathfrak{H}$	$[\mathfrak{H}^n]_r = [\mathfrak{H}^n] \cdot \sqrt{4\pi}$	$\mathfrak{H}^r = \mathfrak{H}^n / \sqrt{4\pi}$	$\mathfrak{H}^n = \mathfrak{H}^r \cdot 4\pi$	$[\mathfrak{H}]_n = [\mathfrak{H}] / 4\pi$
$\mathfrak{B}$	$[\mathfrak{B}^n]_r = [\mathfrak{B}^n] \cdot \sqrt{4\pi}$	$\mathfrak{B}^r = \mathfrak{B}^n / \sqrt{4\pi}$	$\mathfrak{B}^n = \mathfrak{B}^r$	$[\mathfrak{B}]_n = [\mathfrak{B}]$
Φ	$[\Phi^n]_r = [\Phi^n] \cdot \sqrt{4\pi}$	$\Phi^r = \Phi^n / \sqrt{4\pi}$	$\Phi^n = \Phi^r$	$[\Phi]_n = [\Phi]$
$\mathfrak{M}$*)	$[\mathfrak{M}^n]_r = [\mathfrak{M}^n] \cdot \lambda / \sqrt{4\pi}$	$\mathfrak{M}^r = \mathfrak{M}^n \cdot \sqrt{4\pi}/\lambda$	$\mathfrak{M}^n = \mathfrak{M}^r \cdot \lambda / 4\pi$	$[\mathfrak{M}]_n = [\mathfrak{M}] \cdot 4\pi / \lambda$
$\mathfrak{m}_m$*)	$[\mathfrak{m}^n_m]_r = [\mathfrak{m}^n_m] / \sqrt{4\pi}$	$\mathfrak{m}^r_m = \mathfrak{m}^n_m \cdot \sqrt{4\pi}$	$\mathfrak{m}^n_m = \mathfrak{m}^r_m / 4\pi$	$[\mathfrak{m}_m]_n = [\mathfrak{m}_m] \cdot 4\pi$
p*)	$[p^n]_r = [p^n] / \sqrt{4\pi}$	$p^r = p^n \cdot \sqrt{4\pi}$	$p^n = p^r / 4\pi$	$[p]_n = [p]$
$\mathfrak{J}$*)	$[\mathfrak{J}^n]_r = [\mathfrak{J}^n] \cdot \lambda / \sqrt{4\pi}$	$\mathfrak{J}_r = \mathfrak{J}^n \cdot \sqrt{4\pi}/\lambda$	$\mathfrak{J}^n = \mathfrak{J}^r \cdot \lambda$	$[\mathfrak{J}]_n = [\mathfrak{J}] / \lambda$
$\mathfrak{m}_J$*)	$[\mathfrak{m}^n_J]_r = [\mathfrak{m}^n_J] / \sqrt{4\pi}$	$\mathfrak{m}^r_J = \mathfrak{m}^n_J \cdot \sqrt{4\pi}$	$\mathfrak{m}^n_J = \mathfrak{m}^r_J$	$[\mathfrak{m}_J]_n = [\mathfrak{m}_J]$
m*)	$[m^n]_r = [m^n] / \sqrt{4\pi}$	$m^r = m^n \cdot \sqrt{4\pi}$	$m^n = m^r$	$[m]_n = [m]$
$\varkappa_m$	—	$\varkappa^r_m = \varkappa^n_m \cdot 4\pi$	$\varkappa^n_m = \varkappa^r_m / 4\pi$	—
N**)	—	$N^r = N^n / 4\pi$	$N^n = N^r \cdot 4\pi$	—
L	$[L^n]_r = [L^n] \cdot 4\pi$	$L^r = L^n / 4\pi$	$L^n = L^r$	$[L]_n = [L]$

rationale Darstellung: $\nu_e = 1$; $\lambda = 1$

teil-rationale Darstellung nach Gauß: $\nu_e = 4\pi$; $\lambda = 1$

teil-rationale Darstellung nach Maxwell: $\nu_e = 1$; $\lambda = 1$

nicht-rationale Darstellung nach Schaefer: $\nu_e = 4\pi$; $\lambda = 4\pi$

*) $\mathfrak{B} = \mu_0 \mathfrak{H} + \mathfrak{M} = \mu_0 (\mathfrak{H} + \mathfrak{J})$; $\mathfrak{m}_m = \int \mathfrak{M}\, d\tau = p\, d\mathfrak{s}$; $\mathfrak{m}_J = \int \mathfrak{J}\, d\tau = m\, d\mathfrak{s}$.

**) N = Entmagnetisierungs- (Entelektrisierungs-) Faktor.

9*

genügen und sind, wie bereits in I (Abschn. 3) gezeigt wurde, mit den Einheiten $[E^g]$, $[F]$ bzw. $[Q^g]$ der Gleichungen (2) bis (5) identisch:

$$[E^{gr}] = [E^g] = \mathrm{cm}^{-\frac{1}{2}}\,\mathrm{g}^{\frac{1}{2}}\,\mathrm{s}^{-1} \tag{2'}$$

$$[F] = \mathrm{cm}^2 \tag{3'}$$

$$[Q^{gr}] = [Q^g] = \mathrm{cm}^{\frac{3}{2}}\,\mathrm{g}^{\frac{1}{2}}\,\mathrm{s}^{-1}\,. \tag{4'}$$

Die zugehörige rationale Zahlenwertgleichung, die man über Division von (13) durch (14) erhält, lautet

$$\{E^{gr}\} \cdot \{F\} = \{Q^{gr}\} \tag{15}$$

und stimmt formal mit der Gleichung (10) überein.

Die Verknüpfungsrelationen zwischen rationalen und nicht-rationalen Größen, die diesem als $a\beta$ in der Reihe 2 der Tabelle 1 gekennzeichneten Übergang nichtrational $\to$ rational entsprechen, enthält die Spalte 3 der Tabelle 2.

5. Das Verfahren von Giorgi

Giorgi bediente sich des auch von Heaviside benutzten Begriffssystems mit 4 voneinander unabhängigen Grundbegriffen oder Grundgrößen, führte aber seine „Vierer"-Größen rational ein. Giorgi schreibt also den durch (1) allgemein dargestellten physikalischen Zusammenhang in der Form

$$\oint \varepsilon_0 \mathfrak{E} \cdot d\mathfrak{f} = Q \tag{16}$$

und den durch (1a) bzw. (13) charakterisierten Spezialfall als

$$\varepsilon_0 \cdot E \cdot F = Q\,. \tag{17}$$

Im „Vierer"-System tritt die skalare Größe a aus der Gleichung (3r) in I hier in Gestalt der elektrischen Feldkonstanten ε_0 explizit in Erscheinung (s. Abschn. 2 in II). Ein auf diesen Größensatz abgestimmtes Maßsystem ist das Giorgische MKSΩ- oder das $\mathrm{MKSA_{abs}}$-System, das mit dem $\mathrm{m\,s\,V_{abs}\,A_{abs}}$-Maßsystem identisch ist. In ihm lauten die entsprechenden Einheiten

$$[\varepsilon_0] = \mathrm{A_{abs}\,s/V_{abs}\,m} = \mathrm{F_{abs}/m} \tag{18}$$

$$[E] = \mathrm{V_{abs}/m} \tag{19}$$

$$[F] = \mathrm{m}^2 \tag{20}$$

$$[Q] = \mathrm{A_{abs}\,s} = \mathrm{C_{abs}}\,, \tag{21}$$

zwischen denen die Einheitengleichung

$$[\varepsilon_0] \cdot [E] \cdot [F] = [Q] \tag{22}$$

besteht.

Ziel der „Rationalisierung" von Giorgi war es, mit einem Minimum von Änderungen eine Schreibweise seiner Formeln zu erhalten, die der nicht-rationalen Schreibweise des vorigen Jahrhunderts entsprach. Giorgi suchte daher nach einem möglichst einfachen Übergang rational $\to$ nicht-rational für das „Vierer"-System. Hierzu stellte er [7]) für einzelne Größen neue nicht-rationale Definitionen auf, bediente sich also der Methode a der Variation der Größen.

Da in der von Giorgi benutzten „Vierer"-Darstellung die Feldkonstanten als physikalische Größen auftreten, konnte er auf ε_0 und μ_0 seine Art des Überganges zuschneiden und wählte elektrische Ladung bzw. magnetischen Fluß als Invariante seiner Rationalisierung (Fall aα in Reihe 3 der Tabelle 1). Wie aus einer systematischen Ableitung hervorgeht und hier nicht im einzelnen auseinandergesetzt werden soll, werden bei dieser Art des Überganges rational $\rightarrow$ nicht-rational in erster Linie die skalaren Größen a der Gleichungen (3) in I, d.h. absolute Dielektrizitätskonstante ε_{abs} und absolute Permeabilität μ_{abs} betroffen, und außer diesen dielektrische Verschiebungsdichte $\mathfrak{D}$, magnetische Feldstärke $\mathfrak{H}$, magnetische Polarisation $\mathfrak{M}$ und die Suszeptibilitäten $\varkappa_e$ und $\varkappa_m$, sowie von diesen direkt abgeleitete Größen wie Wellenwiderstand Γ, elektrischer Fluß Ψ, magnetische Spannung V, magnetische Polstärke p, magnetische Leitfähigkeit Λ usw.

Nicht-rational definierte Größen sollen, soweit sie von den rational definierten verschieden sind, durch den Index ^{n} hervorgehoben werden. Nach Giorgi ist von den in der Gleichung (17) vorkommenden Größen nur eine, nämlich die elektrische Feldkonstante ε_0, entsprechend der Verknüpfungsrelation

$$\overset{n}{\varepsilon}_{abs} = 4\pi\,\varepsilon_{abs}\,, \tag{23}$$

durch die nicht-rational eingeführte Größe $\overset{n}{\varepsilon_0}$ zu ersetzen, wodurch (wegen $E^n = E$ und $Q^n = Q$) die Gleichung (17) in die nicht-rationale Größengleichung

$$\overset{n}{\varepsilon_0} \cdot E \cdot F = 4\pi Q \tag{24}$$

übergeht. Dabei werden rational und nicht-rational definierte „Vierer"-Größen in den gleichen Einheiten gemessen, z.B. in denen des MKSA-Systems. Man gewinnt mit der Einheitengleichung (22) aus der rationalen Größengleichung (17) die rationale Zahlenwertgleichung

$$\{\varepsilon_0\}\{E\}\{F\} = \{Q\}, \tag{25}$$

und aus der nicht-rationalen Größengleichung (24) die nicht-rationale Zahlenwertgleichung

$$\{\overset{n}{\varepsilon_0}\}\{E\}\{F\} = 4\pi\{Q\}. \tag{26}$$

Dabei entspricht (25) der Gleichung (15) und (26) der Gleichung (6) aus dem „Dreier"-System.

In der Spalte 4 der Tabelle 2 sind die Verknüpfungsrelationen zwischen nicht-rational und rational eingeführten Größen entsprechend dem von Giorgi vorgeschlagenen Übergang rational $\rightarrow$ nicht-rational für die in der Tabelle 2 aufgenommenen elektrischen und magnetischen Größen zusammengestellt worden.

6. Einheitenmäßige Abwandlung des Giorgischen Verfahrens

In den Diskussionen, die dem zum 1.1.1948 international vereinbarten Wechsel in den elektrischen Einheiten vorausgingen, wurde auch das Problem der Rationalisierung erörtert. Die Internationale Elektrotechnische Kommission hatte 1935 auf ihren in Scheveningen und Brüssel abgehaltenen Sitzungen das Giorgische Maßsystem mit 4 Grundeinheiten zur internationalen Benutzung angenommen und empfohlen[8]), dabei jedoch zunächst die Festlegung der 4. (elektrischen) Grundeinheit offen gelassen und beschlossen, vor einer solchen Entscheidung die Meinung der Commission on Symbols, Units and Nomenclature der Internationalen Union für reine und angewandte Physik, sowie des Internationalen Komitees für Maß und Gewicht bzw. des dieses in elektrischen Fragen beratenden Comité Consultatif d'Electricité einzuholen. Beide sprachen sich dafür aus, die absolute Permeabilität des Vakuums oder magnetische Feldkonstante μ_0 der Definition einer 4. Grundeinheit zugrunde zu legen[9]). Bei diesen Verhandlungen spielte auch die Alternative rational ÷ nicht-rational eine Rolle. Da diese Diskussionen wesentlich die magnetische Feldkonstante als Grundlage für die 4. Grundeinheit zum Thema hatten, wurde als Lösung der Rationalisierungsfrage die Unterscheidung zwischen einem „nicht-rationalisierten" und einem „rationalisierten" Einheiten-System vorgeschlagen; diese beiden Systeme sollten so festgelegt werden, daß in ihnen gemessen die magnetische Feldkonstante den Zahlenwert $1 \cdot 10^{-7}$ bzw. $4\pi \cdot 10^{-7}$ erhält — d.h. nicht-rationale und rationale Einheit der absoluten Permeabilität sollten sich um den Faktor 4π unterscheiden.

Dieses Verfahren arbeitet also nach der Methode b der Variation der Einheiten. Es ist als eine Kombination der von Heaviside bzw. Lorentz und Giorgi eingeschlagenen Wege anzusprechen und nach den beiden an den Anfang dieser Betrachtungen gestellten Gesichtspunkten durch die Buchstaben $b\alpha$ zu kennzeichnen (Reihe 4 der Tabelle 1).

Der Übergang rational → nicht-rational stellt sich dann an dem bereits in den voraufgegangenen Abschnitten benutzten Beispiel folgendermaßen dar. An der rationalen Definition der Größen ε_0, E und Q wird festgehalten und lediglich für ε_0 eine „nicht-rationale" Einheit

$$[\varepsilon_0]_n = [\varepsilon_0]/4\pi = \frac{1}{4\pi} \mathrm{F_{abs}/m} \tag{27}$$

eingeführt, so daß an die Stelle der Einheitengleichung (22) zwischen den abgestimmten Einheiten des „rationalen" MKSA-Systems die Einheitenrelation

$$[\varepsilon_0]_n \cdot [E] \cdot [F] = \frac{1}{4\pi} [Q] \tag{28}$$

zwischen diesen nicht mehr aufeinander abgestimmten Einheiten tritt. Aus der Größengleichung (17), die mit dem in $[\varepsilon_0]_n$ gemessenen Zahlenwert $\{\varepsilon_0\}_n$ entsprechend dem Axiom „Größe gleich Zahlenwert mal Einheit" als

$$\{\varepsilon_0\}_n [\varepsilon_0]_n \cdot \{E\}[E] \cdot \{F\}[F] = \{Q\}[Q] \tag{17'}$$

zu schreiben ist, resultiert über Division durch die Einheitengleichung (28) die nicht-rationale Zahlenwertgleichung

$$\{\varepsilon_0\}_n \cdot \{E\} \cdot \{F\} = 4\pi \{Q\}, \tag{29}$$

die der Gleichung (10) aus dem „Dreier"-System mit umgekehrtem Übergangssinn entspricht.

Spalte 5 der Tabelle 2 enthält die diesem Übergang rational → nicht-rational entsprechenden nicht-rationalen Einheitenfestlegungen für die in der Tabelle 2 aufgeführten elektrischen und magnetischen Größen.

Zu der Tabelle 2 sind noch zwei Bemerkungen zu machen. Die erste betrifft die Indizierung der Größen. Da die 4 verschiedenen Rationalisierungsverfahren grundsätzlich unabhängig davon sind, in welcher Richtung ein Übergang rational $\rightleftharpoons$ nicht-rational vorgenommen und (mit Ausnahme der Feldkonstanten) ob dieser Übergang in einem „Dreier"- oder einem „Vierer"-System durchgeführt werden soll, wurde auf den in den Abschnitten 3 und 4 benutzten Index ^{g} verzichtet und wurden einheitlich nur die beiden Indizes ^{r} und ^{n} sowie $_r$ und $_n$ für rational bzw. nicht-rational verwendet.

Sodann muß noch darauf hingewiesen werden, daß die Tabelle 2 allgemeiner gehalten ist als die in den Abschnitten 3 bis 6 skizzierten Beispiele. In der Tabelle wurde auf die verschiedenen benutzten und in I (Abschn. 5) im einzelnen diskutierten nicht- bzw. teil-rationalen Behandlungsarten der Elektrodynamik Rücksicht genommen. Die für diese charakteristischen und in I eingeführten Zuordnungskoeffizienten ν_e und λ sind in der gleichen Bedeutung mit in die Tabelle 2 eingearbeitet worden, so daß an Hand dieser Tabelle nach den dort zusammengestellten 4 Arten jeder gewünschte Übergang von einer nicht- oder teil-rationalen Schreibweise zu einer rationalen oder umgekehrt vorgenommen werden kann. Von den beiden Zuordnungskoeffizienten ist für die Praxis ν_e der wichtigere, da er in der Literatur sehr unterschiedlich benutzt worden ist und wird: Während man bei Anwendung einer nicht-rationalen Schreibweise sich in England — wohl entsprechend der von Maxwell überkommenen Tradition — bislang meist der teil-rationalen Formulierung mit $\nu_e = 1$ bedient hat, wurde und wird im übrigen Europa, sowie in Amerika die Gauß zugeschriebene Schreibung mit $\nu_e = 4\pi$ bevorzugt.

7. Schlußfolgerungen

Die Heaviside-Lorentzsche Art hat als die von den Urhebern der rationalen Behandlung der Elektrodynamik angewandte Methode vor allem historisches Interesse — die rationalen Systeme von Heaviside und Lorentz sind in den vergangenen Jahrzehnten weitgehend in der Literatur benutzt worden. Heute ist sie vielleicht noch für diejenigen von Bedeutung, die dem Umgehen mit Größengleichungen das Rechnen mit Zahlenwertgleichungen vorziehen.

Inzwischen hat sich die Anerkennung der Vorzüge der Größengleichungen immer weiter durchgesetzt. Man stellt die Begriffe und die Größen als deren präzisierte Formulierungen in den Vordergrund und betrachtet folglich die Einheiten als sekundäre Elemente des physikalischen Begriffssystems, die sich art- oder dimensionsmäßig nach den Größen zu richten haben. Dementsprechend werden Unterschiede in der Darstellung heute im allgemeinen auch in die Definition der Größen einbezogen und nicht in spezielle Einheitenfestlegungen verlegt. Dieser größenmäßigen Beschreibung und Behandlung der physikalischen Gesetzmäßigkeiten entspricht die Methode der Variation der Größen, der Fall a der Alternative 1. Für diese ist zunächst das Verfahren der Reihe 2 der Tabelle 1 (Spalte 3 der Tabelle 2), das bezüglich des 2. Unterscheidungsmerkmals (β) der Lorentzschen Rationalisierung entspricht, ein Beispiel. Dieses Beispiel gewinnt besondere Bedeutung im Hinblick auf die größenmäßigen Zusammenhänge und die wechselseitige Überführung zwischen „Vierer"- und „Dreier"-System. Wie ein Vergleich der Tabelle 2 in II mit der obigen Tabelle 2 zeigt, tritt in den Verknüpfungsrelationen zwischen verschiedenen Größensätzen der Rationalisierungsfaktor 4π stets in der (bis möglicherweise auf das Vorzeichen) gleichen Potenz auf, wie die den Dimensionsunterschied „Dreier“- und „Vierer“-Größen kennzeichnende Feldkonstante ε_0 bzw. μ_0. Liegt also der praktisch häufig vorkommende Fall eines Überganges rational $\rightleftharpoons$ nicht-rational vor, bei dem gleichzeitig ein Wechsel „Vierer“- $\rightleftharpoons$ „Dreier“-Größen im physikalischen Begriffssystem vorgenommen werden soll, so ist das in der Reihe 2 der Tabelle 1 charakterisierte Verfahren das zweckmäßige.

Das zweite Beispiel für die Methode *a* der Variation der Größen ist das Giorgische Verfahren der Reihe 3 der Tabelle 1 (Spalte 4 der Tabelle 2). Dieses ist im Rahmen der heute vorherrschenden größenmäßigen Behandlung der Elektrodynamik das adäquate Verfahren, wenn es sich darum handelt, innerhalb des physikalischen Begriffssystems mit 4 Grundgrößen einen Übergang rational $\rightleftharpoons$ nicht-rational vorzunehmen. Es ist daher, soweit heute überhaupt noch der Wunsch nach einer nicht-rationalen Darstellung des „Vierer“-Systems besteht, als die zweckmäßigste Methode hierfür anzusehen und zu empfehlen.

Der in der Reihe 4 der Tabelle 1 und durch die Spalte 5 der Tabelle 2 skizzierte Übergang rational $\rightleftharpoons$ nicht-rational, der in den letzten Jahren sehr lebhaft diskutiert wurde, besitzt zwei wesentliche Mängel. Einmal bedient er sich der Methode *b* der Variation der Einheiten und fällt somit aus dem heute immer mehr angestrebten Rahmen einer rein größenmäßigen Behandlung der physikalischen Gesetzmäßigkeiten heraus. Zum anderen werden durch dieses Verfahren für das rational eingeführte „Vierer“-Größensystem der Elektrodynamik nebeneinander jeweils zwei verschiedene Einheitensysteme festgelegt: ein auf das Größensystem und in sich abgestimmtes Maßsystem, z. B. das zur internationalen Annahme empfohlene (rationale) Giorgische Maßsystem ($MKSA_{abs}$- oder $m\,s\,V_{abs}\,A_{abs}$-System), und zum anderen ein entsprechendes nicht-rationales und nicht mehr abgestimmtes Einheitensystem.

Tabelle 3. „Rationale“ und „nicht-rationale“ Giorgische Einheiten für einige elektrische und magnetische Größen

Größe	Symbol	„rationale“ Einheit	„nicht-rationale“ Einheit
Absolute Dielektrizitätskonstante ...	ε_{abs}	F_{abs}/m	$\frac{1}{4\pi}\,F_{abs}/m$
Dielektrische Verschiebungsdichte ...	$\mathfrak{D}$	C_{abs}/m^2	$\frac{1}{4\pi}\,C_{abs}/m^2$
Elektrischer Fluß ...	Ψ	C_{abs}	$\frac{1}{4\pi}\,C_{abs}$
Absolute Permeabilität ...	μ_{abs}	H_{abs}/m	$4\pi\,H_{abs}/m$
Magnetische Spannung ...	V	A_{abs}	$\frac{1}{4\pi}\,A_{abs}$
Magnetische Feldstärke ...	$\mathfrak{H}$	A_{abs}/m	$\frac{1}{4\pi}\,A_{abs}/m$
Magnetische Polarisation ...	$\mathfrak{M}$	Wb_{abs}/m^2	$4\pi\,Wb_{abs}/m^2$
Magnetische Polstärke ...	p	Wb_{abs}	$4\pi\,Wb_{abs}$
Magnetische Leitfähigkeit ...	Λ	H_{abs}	$4\pi\,H_{abs}$
Wellenwiderstand ...	Γ	Ω_{abs}	$4\pi\,\Omega_{abs}$

Die zweite Tatsache hat für die Praxis sehr unangenehme Folgen. Es würden nämlich bei allgemeiner Einführung eines „rationalen" und eines „nicht-rationalen" Systems für eine ganze Reihe von Größen nebeneinander zwei Einheiten bestehen, die sich um den Faktor 4π unterscheiden. Einige dieser Größen sind mit den zugehörigen Einheiten im „rationalen" und „nicht-rationalen" System in der Tabelle 3 zusammengestellt worden. Vom Comité Consultatif d'Electricité und dem Internationalen Komitee für Maß und Gewicht[10]) wurden das „rationalisierte" und das „nicht-rationalisierte System" bereits im Jahre 1935 diskutiert. Das Comité Consultatif d'Electricité legte eine Definition für die beiden Systeme in seiner Résolution 5a bzw. 5b nieder[11]), die nach einigen redaktionellen Abänderungen vom Internationalen Komitee für Maß und Gewicht gebilligt wurde. Bei der Formulierung seiner 1946 gefaßten endgültigen Beschlüsse zum Wechsel in den elektrischen Einheiten hat allerdings das Internationale Komitee für Maß und Gewicht[12]) das allgemeine Problem der Rationalisierung überhaupt nicht berührt, ebensowenig die spezielle Frage eines „rationalen" oder „nicht-rationalen" Einheitensystems. Der französische Diskussionsentwurf[13]) zum Internationalen Einheitengesetz sieht für die magnetischen Größen, soweit deren Einheiten in den Entwurf aufgenommen worden sind, jeweils eine „rationale" (‚Sytème rationalisé') und eine „nicht-rationale" (‚Sytème classique') MKSA-Einheit nebeneinander vor; der erläuternde Bericht zu diesem Entwurf weist allerdings auf den provisorischen Charakter gerade dieses Vorschlages hin.

Wenn man ein solches Nebeneinanderbestehen von rationalen und nicht-rationalen Einheiten für den praktischen Gebrauch überhaupt akzeptieren wollte, so müßte man zunächst eigene Namen für die sogenannten nicht-rationalen Giorgischen Einheiten festlegen, um sie von ihren rationalen Schwestern zu unterscheiden und abzuheben. Solange man am „Vierer"-System festhält, wären zumindest zwei neue Namen erforderlich, beispielsweise für $\frac{1}{4\pi}\,\mathrm{C_{abs}}$ oder $\frac{1}{4\pi}\,\mathrm{A_{abs}}$ und für $4\pi\,\mathrm{Wb_{abs}}$ oder $4\pi\,\mathrm{V_{abs}}$; bei einem eventuellen Übergang zu einem „Fünfer"-System (s. Abschn. 4 in II) brauchte man noch weitere Namen, da in einem solchen Voltsekunde und Weber bzw. Ampere und Amperewindung nicht mehr dimensionsgleich wären.

Sowohl vom Standpunkt der größenmäßigen Auffassung der physikalischen Begriffssysteme wie im Hinblick auf die verwirrenden Folgen in der Praxis muß also die zusätzliche Einführung „nicht-rationaler" Giorgischer Einheiten und das diesen zugrunde liegende Rationalisierungsverfahren der Reihe 4 der Tabelle 1 (Spalte 5 der Tabelle 2) als unzweckmäßig bezeichnet werden.

Abschließend ist folgendes festzustellen. Das ursprüngliche Verfahren von Heaviside und Lorentz (Abschn. 3) hat heute im wesentlichen nur noch historisches Interesse. Die in letzter Zeit häufig diskutierte einheitenmäßige Abwandlung des ursprünglichen Giorgischen Verfahrens (Abschn. 6) birgt in seinen Konsequenzen die Gefahr, Anlaß zu unnötigen Verwirrungen und Mißverständnissen in der Praxis zu geben, und sollte daher besser nicht benutzt werden. Die größenmäßige Abwandlung des ursprünglichen Lorentzschen Verfahrens (Abschn. 4) ist die geeignete Methode, wenn es sich speziell um grundsätzliche Betrachtungen handelt, die mit der wechselseitigen Verknüpfung physikalischer Begriffssysteme („Dreier"-, „Vierer"- oder „Fünfer"-System) zusammenhängen, beispielsweise der Verknüpfung rationaler „Vierer"-Größen mit in der Literatur auch heute noch benutzten nicht-rationalen „Dreier"-Größen. Für den praktischen Gebrauch in Elektrotechnik und Physik ist im Rahmen des heute vorherrschenden „Vierer"-Systems das Verfahren von Giorgi (Abschn. 5) das zweckmäßigste; für das „Fünfer"-System gilt bezüglich der Rationalisierung das gleiche wie für das „Vierer"-System.

Die Praxis strebt heute offensichtlich mit aller Energie das Ziel an, die nicht-rationale Darstellung so schnell wie möglich ganz zum Verschwinden zu bringen, womit sich das Rationalisierungsproblem für die Praxis von selbst erledigen würde. Anzeichen für eine solche Entwicklung sind der Beschluß des Institute of Radio Engineers[14]) vom Jahre 1948, in Zukunft nur noch rational zu schreiben und rationale Giorgische Einheiten zu benutzen, sowie die innerhalb der Internationalen Elektrotechnischen Kommission[15]) im Juli 1950 in Paris erneut aufgenommenen Verhandlungen, die eine grundsätzliche Entscheidung für die rationale Behandlung der Elektrodynamik zum Ziel haben.

Zusammenfassung

Die verschiedenen Rationalisierungsverfahren in der Elektrodynamik werden nach zwei allgemeinen Gesichtspunkten unterschieden und gekennzeichnet: 1. nach der Verfahrensart (Variation der Größen oder Einheiten) und 2. nach der bei der Rationalisierung invariant bleibenden Größe bzw. Einheit. Die vier wichtigsten Rationalisierungsverfahren (Heaviside-Lorentzsche Rationalisierung, Giorgische Rationalisierung sowie die größen- bzw. einheitenmäßigen Abwandlungen dieser beiden Verfahren) werden an einfachen Beispielen erläutert, ihre Konsequenzen einander gegenübergestellt und aus diesen einige allgemeine Schlußfolgerungen gezogen. Diese führen zu dem Ergebnis, daß, sofern in Zukunft überhaupt noch rationale und nicht-rationale Darstellungen in der Elektrodynamik beibehalten werden sollen, das Verfahren von Giorgi die zweckmäßigste Lösung darstellt.

Literatur

1) U. Stille, Abh. Wiss. Ges. Braunschweig. **1** (1949) S. 38; im folgenden als I zitiert.
2) U. Stille, Abh. Wiss. Ges. Braunschweig. **1** (1949) S. 56; im folgenden als II zitiert.
3) U. Stille, Arch. Elektrotechn. **39** (1948) S. 130.
4) U. Stille, Ann. Phys. (6) **5** (1949) S. 208.
5) O. Heaviside, Electrician **10** (1882/83) S. 510, 558, 582; Electromagnetic Theory **1**, S. 123, London 1893.
6) H. A. Lorentz, Encykl. Math. Wiss. V/2, S. 67, Leipzig 1904.
7) G. Giorgi, Att. Assoc. Elettrotec. Ital. **5** (1901) S. 402; Nuov. Cim. **48** (1902) S. 11.
8) I.E.C., Minut. IEC-Meet. Scheveningen-Bruxelles, 1935, Doc. 118.
9) Proc. Verb. CIPM (2) **17** (1935) S. 325, 204, 95.
10) Proc. Verb. CIPM (2) **17** (1935) S. 95.
11) Proc. Verb. CIPM (2) **17** (1935) S. 210.
12) Proc. Verb. CIPM (2) **20** (1946) S. 129.
13) C.R. 9e Conf. Gén. Poids et Mes., S. 104, Paris 1949.
14) Proc. Inst. Radio Eng. **36** (1948) S. 827.
15) I.E.C., Bull. Schweiz. Elektrotechn. Ver. **42** (1951) S. 25; Eidgenössisches Amt für Maß und Gewicht, Bull. Schweiz. Elektrotechn. Ver. **42** (1951) S. 237; briefliche Mitteilung von Herrn Prof. Landolt, Winterthur, Schweiz.
16) J. de Boer, Ned. T. Natuurk. **17** (1951) S. 5.